

Estructura y dinámica del manto bajo la Península Ibérica: La contribución del proyecto Topo-Iberia

Mantle structure and Dynamics beneath the Iberian Peninsula: The contribution of the Topo-Iberia project

J. Díaz¹, A. Villaseñor¹, F. Mancilla², I. Palomeras³, L. Bonatto⁴, M. Schimmel¹, M. Harnafi⁵ y J. Gallart¹

¹ ICTJA-CSIC, c/ Solé Sabarís sn, 08028 Barcelona (jdiaz@ictja.csic.es).

² Universidad de Granada, Instituto Andaluz de Geofísica, Granada, Spain

³ Department of Earth of Earth Science (MS126), Rice University, 6100 Main St., Houston, Texas 77005, USA

⁴ INGV (National Institute of Geophysics and Volcanology) Rome, Lazio, Italy

⁵ Institut Scientifique, Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Morocco.

Resumen: La plataforma instrumental IberArray, parte integrante del proyecto Topo-Iberia, ha proporcionado un aumento radical en la cantidad de datos geofísicos disponibles para definir la estructura y dinámica del manto bajo la Península Ibérica. Las funciones receptoras han permitido obtener un mapa detallado de las variaciones de grosor cortical. Las diversas tomografías de ondas compresionales y de superficie han permitido definir la geometría de la zona de alta velocidad bajo Alborán. Las discontinuidades a 410 y 660 km han sido investigadas utilizando métodos novedosos de correlación cruzada y sumación. Finalmente, la medida e interpretación de los parámetros anisotrópicos ha hecho posible describir el flujo a nivel astenosférico.

Palabras clave: Tomografía sísmica; Anisotropía; Zona de transición; Topografía del Moho

Abstract: The IberArray instrumental platform, part of the TopoIberia project, has provided a huge increase on the geophysical datasets available to constrain the structure and dynamics of the mantle beneath the Iberian Peninsula. Receiver Functions have allowed to map accurately large crustal thickness variations. Volume and surface wave tomographies have been obtained for the crust and the upper mantle, allowing to define the geometry of the high-velocity slab beneath Alboran. The 410-km and 660-km discontinuities have been investigated using novel cross-correlation/stacking techniques. Finally, the measurement and interpretation of the anisotropic parameters has provided a new insight on the asthenospheric flow.

Key words: Seismic tomography, anisotropy, Transition zone, Moho topography.

INTRODUCCIÓN

El proyecto TopoIberia, financiado dentro del programa “Consolider Ingenio 2010”, ha involucrado más de 125 investigadores de 10 grupos distintos con el objetivo de entender mejor las interacciones entre los procesos superficiales y profundos que afectan a la evolución de la Península Ibérica. Uno de los hitos principales del proyecto ha sido la implementación de la plataforma instrumental IberArray, formada por equipos de magnetotélurica, estaciones GPS de registro continuo y una red de estaciones sísmicas de banda ancha. La explotación de los datos recogidos por esta red ha supuesto sin duda un gran paso adelante en el estudio de las Ciencias de la Tierra en nuestro país. En esta contribución repasaremos los principales avances científicos logrados a partir de los nuevos datos en lo referente a la estructura y dinámica del manto bajo la Península Ibérica y las zonas colindantes, centrándonos en la interpretación de los datos sísmicos.

La red sísmica IberArray, activa entre 2007 y 2014, ha permitido cubrir, mediante tres despliegues

sucesivos, el Norte de Marruecos y la Península Ibérica con una red de estaciones sísmicas separadas 60 km entre sí. Se han integrado también en la base de datos los registros de las estaciones fijas gestionadas por las distintas redes permanentes que operan en la zona. Con ello se ha logrado reunir un conjunto excepcional de más de 300 estaciones sísmicas que ha permitido investigar la zona con una resolución sin precedentes.

TOPOGRAFÍA DE LA BASE DE LA CORTEZA

El conocimiento detallado de la topografía de la base de la corteza es de gran interés por sus implicaciones geodinámicas, pero también para poder interpretar de forma correcta las tomografías sísmicas, mejorar en la localización hipocentral o parametrizar los métodos de modelización geodinámica a escala litosférica.

Aprovechando los datos obtenidos en el marco del proyecto Topo-Iberia, Mancilla y Díaz (2015) han

utilizado los registros de terremotos lejanos (telesismos) para calcular las funciones receptoras y estimar así el grosor cortical con una buena resolución espacial (Figura 1). El Macizo Central Ibérico muestra un grosor bastante uniforme, de unos 30- 32 km, mientras que las zonas retrabajadas durante la orogenia Alpina muestran mayor diversidad. Las raíces corticales más prominentes se localizan bajo los Pirineos / Cordillera Cantábrica y bajo en Arco de Gibraltar.

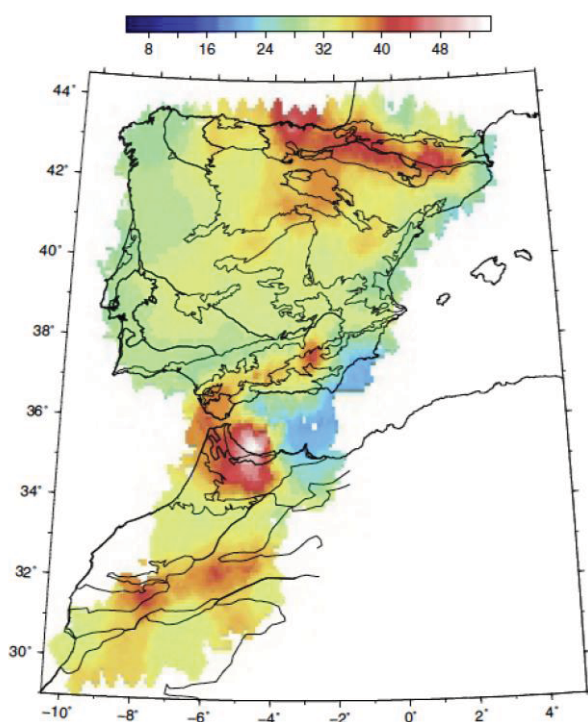


FIGURA 1. Mapa de grosor cortical obtenido a partir del análisis de funciones receptoras con los límites de las principales unidades geológicas superpuestas.

ESTRUCTURA DEL MANTO SUPERIOR

Los datos obtenidos por la red IberArray han permitido investigar el manto superior mediante la obtención de diversas tomografías sísmicas, tanto a nivel cortical (El Mounib et al., 2015) como a nivel del manto (Bezada et al., 2013; Bonnin et al., 2014; Chevrot et al., 2014; Palomeras et al., 2014; Villaseñor et al., 2015). Las diversas imágenes tomográficas del manto coinciden en identificar una zona de alta velocidad bajo el Mar de Alborán, que llega hasta la discontinuidad de 660 km (Figura 2). Si bien este cuerpo anómalo se había descrito ya anteriormente, las imágenes obtenidas a partir de los nuevos datos han hecho posible precisar su geometría y estudiar si la placa está desgajada o no de la litosfera. En este sentido, Palomeras et al. (2014), utilizando tomografía de ondas Rayleigh, han mostrado como la placa de

Alborán está aún conectada con la corteza bajo el Rif y posiblemente también bajo Sierra Nevada.

En la zona Norte de la península, Chevrot et al. (2014) han comprobado que bajo los Pirineos no existe una zona de alta velocidad coherente, lo que permite excluir la subducción de corteza oceánica bajo EuroAsia durante el periodo de convergencia de placas.

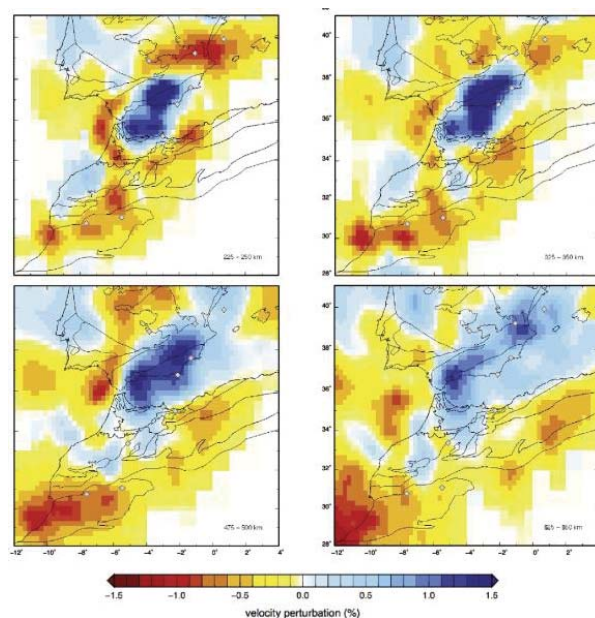


FIGURA 2. Cortes horizontales en el modelo tomográfico de Villaseñor et al. (2015) para las capas 225-250 km, 325-350 km, 475-500 y 625-650 km.

GEOMETRÍA DE LA ZONA DE TRANSICIÓN

Bonatto et al. (2015) han utilizado las conversiones de fase P-S en las discontinuidades del manto superior para estudiar la zona de transición, que separa el manto superior y el manto inferior. Las discontinuidades situadas cerca de los 410 y 660 km de profundidad, que marcan los límites de dicha zona, son el resultado de transiciones de fase mineralógicas. El estudio de sus propiedades permite obtener información sobre las anomalías térmicas en profundidad.

Los resultados obtenidos muestran una zona de transición adelgazada bajo el Golfo de Cádiz y significativamente engrosada bajo el Mar de Alborán. (Figura 3). La zona donde se localizan los terremotos profundos de Granada coincide con la presencia de un fuerte gradiente de temperatura en la zona de transición. Los resultados muestran también la presencia de una anomalía bajo los Pirineos y las Baleares que podría ser un remanente de la subducción Alpina del Tethys.

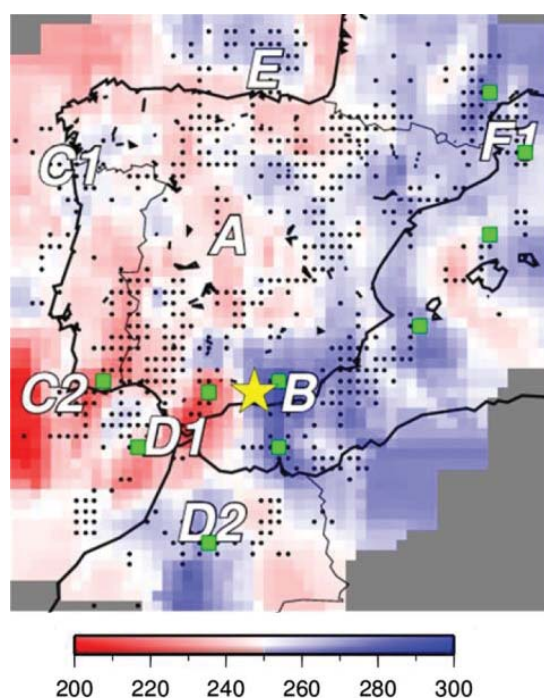


FIGURA 3. Variaciones de grosor de la zona de transición (escala en km). La estrella muestra la localización de los terremotos profundos de Granada.

DINÁMICA ASTENOSFÉRICA

La investigación de las propiedades anisotrópicas del manto superior es una de las mejores opciones para estudiar los procesos geodinámicos que afectan a esta zona. La anisotropía sísmica observada es el resultado de la orientación preferencial de la red cristalina de los minerales del manto, que se forma en respuesta al flujo tectónico. Aunque la relación entre anisotropía y deformación es compleja y puede verse afectada por múltiples factores, se considera que las direcciones de propagación rápida constituyen un buen indicador de la orientación del flujo astenosférico actual.

Los datos obtenidos durante el proyecto TopoIberia han supuesto un gran paso adelante en el conocimiento de los parámetros anisotrópicos bajo la zona occidental de la cuenca mediterránea, ya que han hecho posible conectar las medidas previas disponibles en algunas áreas mediante una red densa y homogénea (Díaz et al., 2015). El resultado más espectacular es sin duda la rotación de las direcciones de propagación rápida siguiendo el Arco de Gibraltar., que se interpreta como el resultado de la desviación del flujo general astenosférico alrededor de la placa de Alborán (Figura 4). Bajo el Macizo Central Ibérico, la dirección de propagación rápida es bastante uniforme, orientada a unos 100° Este. Esta dirección se mantiene a lo largo de los Pirineos, llegando al Surco de Valencia y es

consistente con modelos globales de flujo astenosférico (p.e. Conrad et al., 2010). Sin embargo, en el Norte de la península se observan importantes variaciones en la intensidad de la anisotropía, lo que sugiere la presencia de diversas capas anisotrópicas.

En el extremo SO de la península y bajo el Alto Atlas, se han identificado zonas con poca anisotropía, que pueden relacionarse con la presencia de flujos astenosféricos verticales.

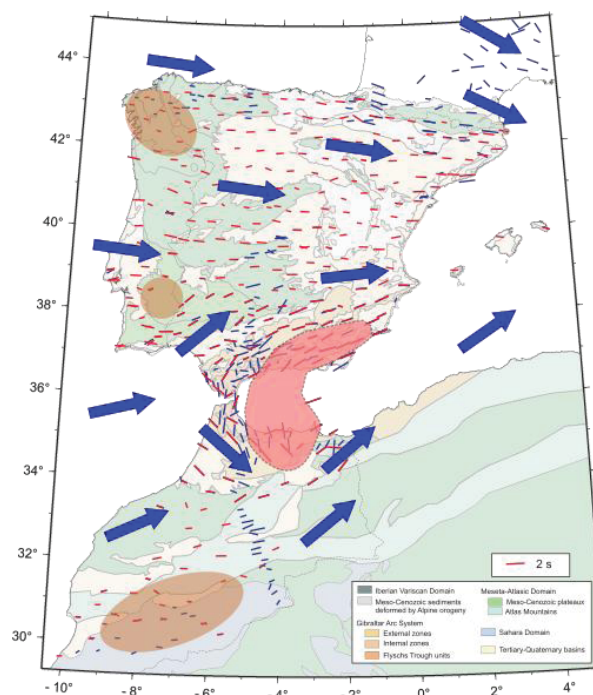


FIGURA 4. Mapa de las propiedades anisotrópicas. Los trazos rojos muestran las direcciones de propagación rápida obtenidos en el marco de Topo-Iberia y los proyectos asociados. Las barras azules muestran los resultados previos en el área de estudio. Las flechas marcan la dirección de flujo astenosférico deducida de los resultados.

CONCLUSIONES

La interpretación de los datos obtenidos en el marco del proyecto TopoIberia muestra como el despliegue de una red instrumental de alta densidad a nivel regional permite la obtención de mapas de diversas variables geofísicas que son esenciales para el posterior desarrollo de modelos geodinámicos que mejoren la comprensión de la estructura interna de nuestro planeta.

La plataforma observacional IberArray, diseñada siguiendo la estela de la iniciativa americana EarthScope, y la integración de los datos de redes sísmicas permanentes y de otros proyectos de investigación realizados en el área de estudio durante la misma época, (PICASSO, WILAS, PYROPE, CoMITAC) muestran el camino a seguir para potenciar infraestructuras europeas como EPOS, encaminada a que pretenda recopilar multitud de datos y métodos de

análisis para facilitar su gestión e interpretación conjunta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha recibido financiación procedente proviene del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) mediante los proyectos CSD 2006-00041 (Topolberia), Red Topolberia-Iberarray CGL2014-54582-REDC] y de la subvención de la Generalitat de Catalunya 2009SGR996.

REFERENCIAS

- Bezada, M. J., E. D. Humphreys, D. R. Toomey, M. Harnafi, and J. M. Davila (2013), Evidence for slab rollback in westernmost Mediterranean from improved upper mantle imaging, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 368, 51–60.
- Bonatto, L., Schimmel, M., Gallart, J. y Morales, J. (2015). The upper-mantle transition zone beneath the Ibero-Maghrebian region as seen by teleseismic Pds phases. *Tectonophysics*, 663, 212–224, doi: 10.1016/j.tecto.2015.02.002
- Bonnin, M., Nolet, G., Villaseñor, A., Gallart, J., Thomas, C., 2014. Multiple-frequency tomography of the upper mantle beneath the African/Iberian collision zone. *Geophys. J. Int.* 198, 1458–1473.
- Chevrot, S., Villaseñor, A. and Sylvander, M. (2014). High resolution imaging of the Pyrenees and Massif Central from the data of the PYROPE and IBERARRAY portable array deployments, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, doi: 10.1002/2014JB010953, (2014).
- Conrad, C.P., Behn, M.D., 2010. Constraints on lithosphere net rotation and asthenospheric viscosity from global mantle flow models and seismic anisotropy. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11, Q05W05. <http://dx.doi.org/10.1029/2009GC002970>
- Díaz, J., Gallart, J., Morais, I., Silveira, G., Pedreira, D., Pulgar, J.A., Dias, J.A., M. Ruiz and González-Cortina, J.M. (2015). From the Bay of Biscay to the High Atlas: Completing the anisotropic characterization of the upper mantle beneath the westernmost Mediterranean region. *Tectonophysics*, 663, 192–202, doi:10.1016/j.tecto.2015.03.007
- El Moudnib, L., Villaseñor, A., Harnafi, M., Gallart, J., Pazos, A., Serrano, I., Córdoba, D., Pulgar, J.A., Ibarra, P., Himmi, M.M., Chourak, M., 2015. Crustal structure of the Betic–Rif system, western Mediterranean, from local earthquake tomography. *Tectonophysics* 643, 94–105
- Mancilla, F.L. and Diaz, J., High resolution Moho topography map beneath Iberia and Northern Morocco from receiver function analysis, *Tectonophysics* (2015), 203–211, doi: 10.1016/j.tecto.2015.06.017
- Palomeras, I., S. Thurner, A. Levander, K. Liu, A. Villaseñor, R. Carbonell, and M. Harnafi (2014), Finite-frequency Rayleigh wave tomography of the western Mediterranean: Mapping its lithospheric structure, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 140–160, doi:10.1002/2013GC004861.
- Villaseñor, A., Chevrot, S., Harnafi, M., Gallart, J., Pazos, A., Serrano, I., Córdoba, D., Pulgar, J.A., Ibarra, (2015). Subduction and volcanism in the Iberia–North Africa collision zone from tomographic images of the upper mantle. *Tectonophysics* 663 (2015) 238–249